

Universidade Federal do Paraná

SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

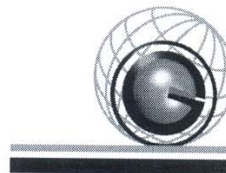
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE AMBIENTAL

MARCEL DE ANDREA

**CARTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA PARTE MONTANTE DO RIO
DAS CAVEIRAS (SC) – SUBSÍDIO PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

CURITIBA - PR

2010



ATA DE AVALIAÇÃO DE
MONOGRAFIA DO CURSO DE
ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE
AMBIENTAL.

Aos quatorze dias do mês de outubro de 2010, na sala PH05 foi avaliada pela Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo listados, a monografia intitulada:

CARTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA PARTE MONTANTE DO RIO DAS CAVERNAS (SC) – SUBSÍDIO PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS do (a) aluno (a) **MARCEL DE ANDREA** que obteve

como resultado final APROVADO (9.0).

Nome e assinatura da Banca Examinadora:

Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (Presidente/orientador)

Dr. Tony Vinicius Sampaio (membro)

Sumário

Resumo	1
Abstract.....	1
1. Introdução	2
2. Metodologia e etapas de trabalho	5
3. Caracterização da área de estudo	7
3.1. Contexto Geológico	10
3.2. Características Estruturais.....	15
3.3. Características Geomorfológicas.....	19
3.4. Hidrogeologia.....	24
3.5. Solos.....	25
4. Cartografia Geológico-Geotécnica	27
4.1. Aspectos geotécnicos.....	29
5. Conclusões e recomendações	32
6. Referências Bibliográficas.....	35

Resumo

O trabalho propõe a cartografia geológico-geotécnica e a caracterização de unidades geológico-geotécnicas (UGG's), elaborada a partir da análise geológica, geomorfológica, pedológica, hidrogeológica e hidrológica, de forma cabal e integrada, aplicada na fase de estudo de inventário hidroelétrico para Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH's). Como exemplo, o foco é voltado ao trecho superior da bacia hidrográfica do rio das Caveiras, município de Lages (SC), o qual apresenta vocação para aproveitamentos hidroelétricos com pequena potência instalada. O resultado é um cartograma com orientações para o uso do meio físico em engenharia com os aspectos geológicos e geotécnicos de cada unidade.

Abstract

The paper propose the geological-geotechnical mapping and characterization of geological and geotechnical units (UGG's), drawn from the analysis of geological, geomorphological, pedological, hydrogeological and hydrological, in full and integrated ways, applied in the study phase of the hydroelectric inventory for small hydropower plants (SHP's). As an example, the focus is on to the stretch upper of the hydrographic basin of the river Caveiras, Lages (SC), which has a vocation for small hydropower plants with low installed power. The result is a cartogram with guidelines for the use of the physical environment in the engineering with the aspects of the each units geological-geotechnical (UGG's) mapped.

1. Introdução

Do ponto de vista energético a conjectura do Brasil, e do mundo, leva a um panorama de demanda de geração de energia inexoravelmente crescente. Isto é notável em termos nacionais como, por exemplo, na redação do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE) (BRASIL, 2008), com a seguinte frase: “em 25 anos, o consumo total de energia elétrica no Brasil aproximar-se-á de 1.200 TWh (um mil e duzentos terawatt), o que significa uma expansão média de 4% ao ano desde 2005”.

Em conjunto com o aumento da demanda existente há a preocupação e necessidade de investimentos em fontes de energias ambientalmente responsáveis (limpas e renováveis). Neste cenário as Pequenas Centrais Hidroelétricas, popularmente chamadas de PCH's, são apresentadas como uma alternativa simpática, pois agregam, em sua essência, a capacidade de gerar energia sem causar severos danos ao ambiente.

A ANEEL, órgão governamental integrante do MME, em sua resolução nº 652 de 09 de dezembro de 2003 define como PCH toda usina hidrelétrica cuja potência seja superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e que possua um reservatório com área igual ou inferior a 3,0 km².

As centrais geradoras de energia hidrelétrica que não se enquadram na faixa de potência apresentada acima são as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), que têm potência até 1.000 kW, e as Usinas Hidrelétricas (UHE's), que apresentam potência geradora de energia acima de 30.000 kW.

As PCH's normalmente são construídas em rios de pequeno e médio porte que possuem vazões e desníveis significativos no seu percurso, com potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas gerando, assim, energia elétrica, como esquematizado na Figura 1.

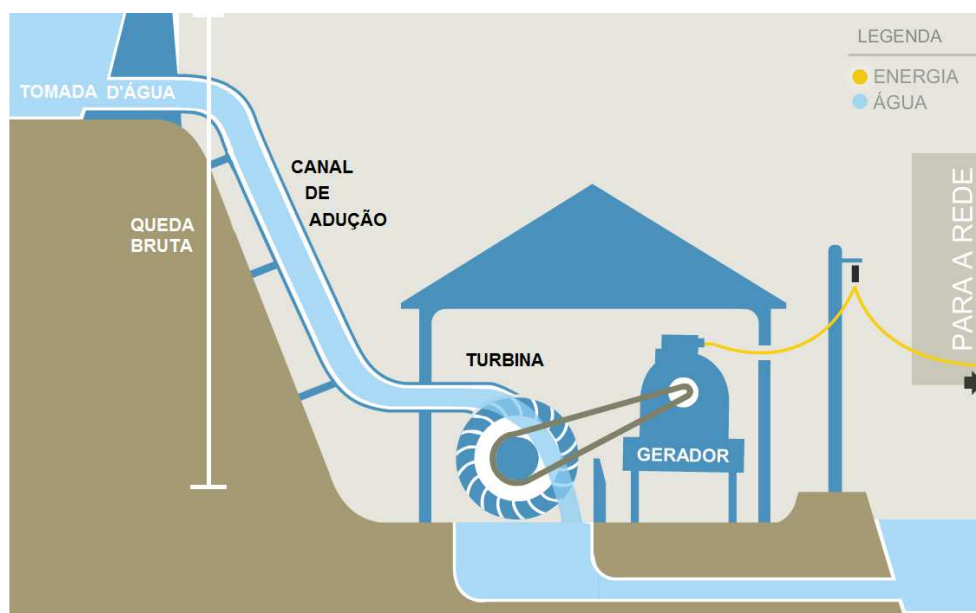


Figura 1 - Esquema de uma pequena central hidroelétrica (PCH). Adaptado de Greenpeace.

A necessidade de agregar geração de energia, fontes renováveis e meio ambiente é notável no setor elétrico brasileiro, já que seu órgão ajuizador, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), possui regulamentações voltadas para a excelência nos empreendimentos relacionados a ela. Para o caso das PCH's existem diretrizes específicas para os trabalhos executados nas áreas de meio ambiente, geologia, sócio-econômicos, energético, etc.

Segundo o Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ANEEL, 2003), a utilização de potenciais hidráulicos para a produção de energia é um assunto que merece enorme atenção dos administradores públicos e dos legisladores brasileiros. Seja por seu caráter de utilidade pública, por suas implicações ambientais e pelo princípio de utilização de bens da União, que são os cursos d'água, a construção e exploração de hidrelétricas é regida por um grande e detalhado arcabouço legal, que começa na Constituição Brasileira, passa por leis e decretos e chega a regulamentos e despachos, que detalham todos os aspectos da atividade.

Os estudos para potenciais hidroelétricos que se emolduram como PCH's são constituídos de fases fundamentais. A etapa inicial é compreendida pelo estudo de inventário, que é antecessor das seguintes etapas: projeto básico, projeto executivo e obra, além dos licenciamentos ambientais.

O estudo de inventário hidrelétrico é a avaliação do potencial de geração de energia de uma unidade hidrográfica. É um instrumento que quantifica as

potencialidades hidroenergéticas de um curso d'água, estabelecendo um conjunto de aproveitamentos hidrelétricos ordenados pela atratividade econômica e que se inserem na bacia obedecendo ao conceito do “aproveitamento ótimo”, que, além dos aspectos energéticos, considera também os procedimentos de minimização dos impactos ambientais observando o uso múltiplo dos recursos hídricos (ANEEL, 2003).

Dentro dessa realidade, este relatório visa apresentar a cartografia geológico-geotécnica de forma sucinta, e, as contribuições dos estudos de geologia e geotecnia na elaboração de um inventário hidrelétrico simplificado de um trecho com real potencial energético no rio das Caveiras em Lages, SC. Ademais, apresentar subsídios para ações preventivas e corretivas para a compreensão das propriedades físicas dos espaços naturais que serão ocupados e modificados pelas obras civis de instalação de pequenas centrais hidrelétricas, através de uma ferramenta rápida e adaptada a um patamar mais resolutivo e influente para as decisões de engenharia.

O mapa produzido permitirá uma visualização da área, seccionada em unidades, das quais é possível reportar os seguintes produtos: um resumo das características da geologia, relevo, solo, hidrogeologia e hidrologia, identificação dos processos geológicos e comportamentos geotécnicos, definição de medidas corretivas previstas e investigações sugeridas para cada compartimento geotécnico final, entre outras. Cerri (1990) *apud* Paula (2007) apresenta uma lista com alguns objetivos e aplicações para as cartas geotécnicas como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Principais objetivos e aplicações das Cartas Geotécnicas (CERRI, 1990 *apud* Paula, 2007).

OBJETIVOS	APLICAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> - melhor utilização do espaço físico disponível; - conservação ambiental e a proteção dos recursos naturais; - estabelecimento de critérios técnicos para a expansão da ocupação e para a recuperação de áreas degradadas por ocupação desordenada; - segurança das edificações e da população através da previsão e prevenção de riscos geológicos (naturais ou induzidos); - otimização da aplicação de recursos públicos e privados; e - orientação (e não substituição) de estudos e ensaios específicos para projetos de engenharia. 	<ul style="list-style-type: none"> - como subsídios à elaboração de projetos voltados ao planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo em todos os níveis (Plano Diretor, zoneamento, parcelamento e desmembramento), inclusive na própria elaboração de dispositivos legais inertes ao uso do solo; - como subsídios a estudos de impacto ambiental; - na restrição à ocupação de áreas sob riscos geológicos; - na definição de locais mais adequados, dos cuidados e estudos específicos para implantação de obras de engenharia; - na melhor estimativa dos custos de implantação dos empreendimentos; e - no estabelecimento de critérios técnicos para eficientes sistemas de manutenção das obras de engenharia.

2. Metodologia e etapas de trabalho

Segundo De Paula *et al.* (2008), existem diversas metodologias específicas para elaboração de produtos cartográficos que representem as características do meio físico de forma combinada. Dentre elas destacam-se os procedimentos descritos por Ross (1995), Lollo (1995) e Vedovello (2000).

Os três ressaltam a importância da caracterização do meio físico onde, em uma ação combinada dessas características, definem-se as unidades. Esses métodos também revelam a importância de integrar as diversas informações e características do meio físico que podem ser aplicadas em várias frentes, seja no planejamento urbano e ambiental, obras de engenharia, proteção do ambiente, etc (De Paula *et al.*, 2008).

No campo da Geologia de Engenharia, os instrumentos utilizados, usualmente, para a representação das características do meio físico podem ser genericamente denominados Cartas Geológico-Geotécnicas, Cartas de Geologia de Engenharia, Cartas Geotécnicas e Mapas Geotécnicos, e que exprimem os comportamentos dos terrenos frente a uma solicitação. Zuquette & Nakazawa (1998) *apud* De Paula *et al.* (2008) citam os conceitos clássicos

de Mapas ou Cartas Geotécnicas propostos por Varnes (1974) e IAEG (1976), respectivamente: “Um mapa geotécnico requer, para sua realização, operações físicas de adição, seleção, generalização e transformações de informações especializadas, relativas a litologia, a estrutura dos solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geológicos”; e, “O mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”.

As etapas de trabalho é de acordo com o proposto por Santos (2008), conforme apresenta a Tabela 2, e o fluxograma adaptado de Paula, 2008, Figura 2.

Tabela 2 – Roteiro de trabalho aplicado no estudo (adaptado de Santos, 2008).

Fases do Trabalho	Objetivo	Principais Cuidados
Circunscrição da área	<ul style="list-style-type: none"> - Delimitação e caracterização da área de trabalho. - Enquadramento geológico-geomorfológico do local. - Identificação preliminar dos problemas potenciais ou ocorridos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recolhimento de todos os registros bibliográficos e técnicos e de testemunhos de pessoal local. - Caracterização das feições e dos processos geológicos-geomorfológicos naturais locais e regionais.
Análise e Diagnóstico dos Fenômenos Presentes	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterização dos parâmetros geológicos e geotécnicos necessários ao entendimento dos fenômenos envolvidos. - Diagnóstico final e descrição qualitativa e quantitativa dos fenômenos nas interrelações solicitações/meio físico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesquisa de situações semelhantes especialmente na região. - Identificação dos processos geológicos e geotécnicos originalmente presentes. - Adoção de hipóteses fenomenológicas progressivas e esforço investigativo e observativo para sua aferição.
Formulações de Soluções	<ul style="list-style-type: none"> - Apoio a engenharia na formulação das soluções adequadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zelo especial pela perfeita aderência solução/fenômeno. - Busca do barateamento da solução encontrada.

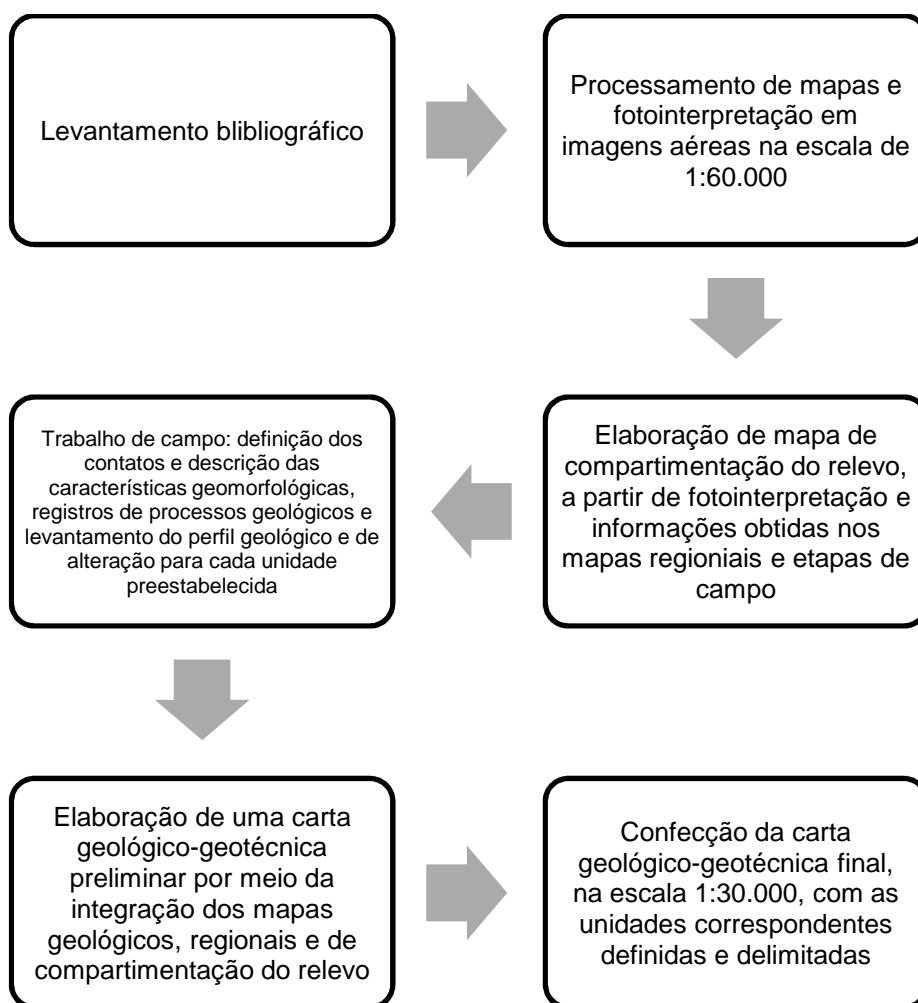


Figura 2 – Fluxograma das atividades desenvolvidas para a elaboração do mapa geológico-geotécnico (Adaptado De Paula *et al.*, 2008).

3. Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio das Caveiras, ou simplesmente rio Caveiras, como é citado em algumas publicações, é localizada no centro sul do Estado de Santa Catarina, próximo a cidade de Lages. Suas águas rumam para oeste percorrendo os municípios de Paineira, Lages, Capão Alto, Campo Belo do Sul, Cerro Negro e São José do Cerrito onde é afluente da margem esquerda do rio Canoas, um dos principais tributários do rio Uruguai. De forma integral, a Bacia é localizada entre as coordenadas 49° 50' a 50° 55' de longitude oeste e 27° 35' a 28° 05' de latitude sul (Figura 3).

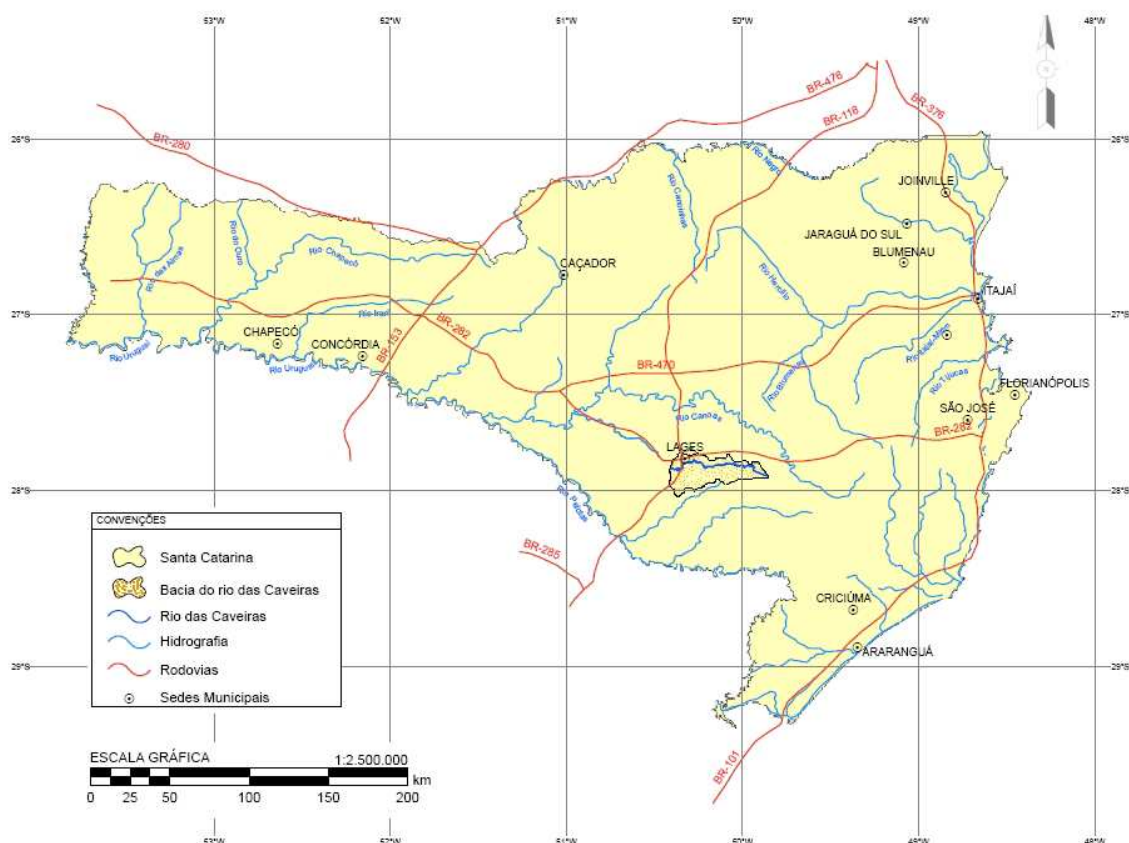


Figura 3 - Estado de Santa Catarina com a localização do trecho superior da bacia hidrográfica do rio das Caveiras.

Estudos prévios já determinaram potenciais hidrelétricos ao longo deste curso d'água, e até mesmo há uma usina em operação comercial estabelecida a longa data (PCH Salto Caveiras). Na ocasião dos trabalhos de outrora, os estudos se concentraram no trecho a jusante do canal de fuga da Usina, pois os responsáveis buscavam aproveitamentos de maior porte.

Prospecções recentes identificaram um potencial remanescente no trecho alto do rio das Caveiras, no entanto não tão generosos na potência de geração. Não obstante, a ANEEL sinalizou que o trecho a montante ao remanso desta usina estaria disponível para estudos, e, sendo assim, realizada a caracterização em pormenor para o trecho de estudo. De forma detalhada, a alternativa de divisão de quedas apontou como aproveitamento ótimo o trecho central da área de drenagem, já que congrega as melhores características de queda, área de drenagem e vazão d'água ao longo de todo curso, como apresenta o polígono em vermelho da Figura 4.

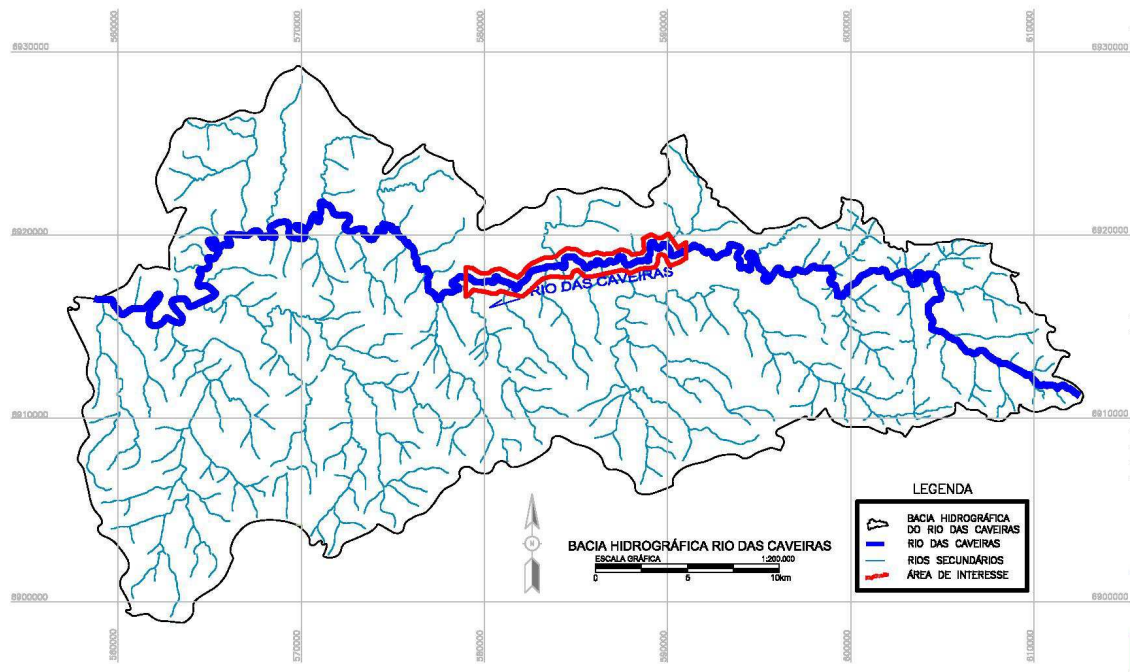


Figura 4 – Detalhe da hidrografia da porção montante da bacia do rio das Caveiras.

A área total de drenagem para a bacia neste trecho é de 838,30 km², tendo como limite físico, a jusante, a ponte da BR116, coincidente com o final do lago da PCH Sato Caveiras. A montante os estudos apontaram até a cabeceira na Serra Geral, buscando a identificação de aproveitamentos com potência instalada igual ou superior a 1,0 MW (megawatt). O curso d'água apresenta cerca de 55 km de extensão e são situados no meio rural dos municípios de Lages e Paineira.

Um *buffer* de cerca de 200 metros foi considerado como área de interesse das futuras obras e neste limite tem-se as informações planialtimétricas procedentes da restituição, como mostra a Figura 5.

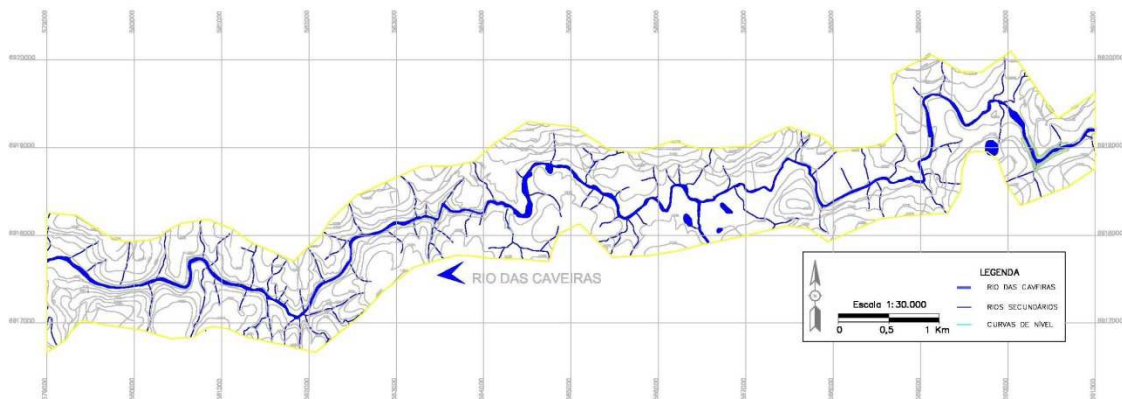


Figura 5 – Dados planialtimétricos restituídos de fotografias aéreas da área interessada.

3.1. Contexto Geológico

As investigações para o mapeamento geológico se desenvolveram principalmente através dos trabalhos de fotointerpretação em escritório e da descrição de afloramentos em campo. Como método buscou-se definir as características mais marcantes de cada rocha, tais como: mineralogia, estrutura, textura e relações de contato quando possível.

A geologia dos terrenos está representada na Figura 6, da qual se originou as informações geológicas aqui apresentadas, com a descrição de 2 unidades litoestratigráficas e dos materiais de alteração e depósitos coluvionares, iniciando-se da unidade mais antiga para a mais recente:

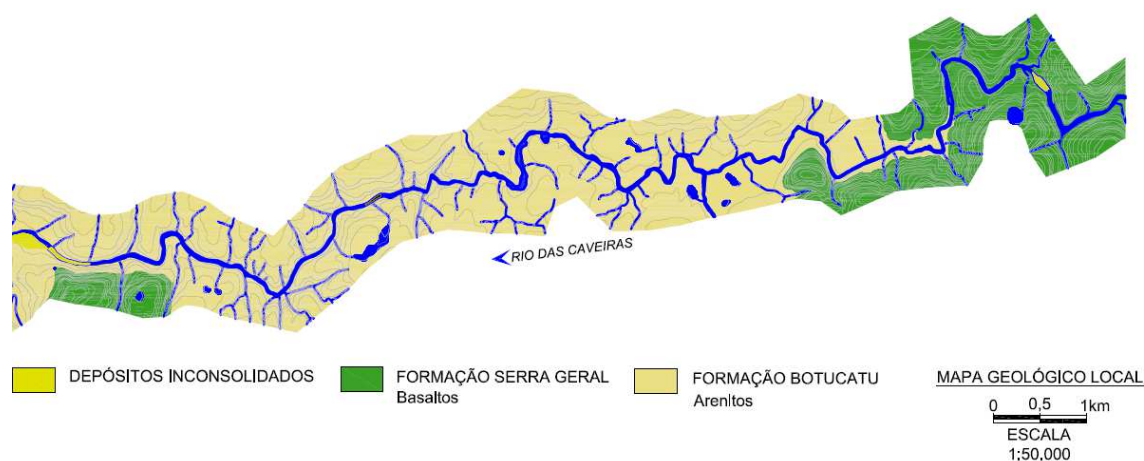


Figura 6 - Compartimentação litoestratigráfica do trecho estudado.

A) Formação Serra Geral

Esta unidade ocorre, de forma geral, como porções isoladas no leste e oeste da área. Sobrepe arenitos da formação Botucatu, caracterizando assim o estrato superior da sucessão litológica. Em planta, o contato com a unidade inferior é sinuoso como observado Figura 6.

A espessura da unidade é menor na área, já que está exposta há mais tempo à ação intempérica, e devido ao recuo lateral paralelo de oeste para leste, sofreu assim uma maior dissecação causada pela erosão.

Os registros encontrados em campo são basaltos de coloração cinza escuro, textura fanerítica fina e estrutura maciça, por vezes com esparsas vesículas e amígdalas preenchidas por quartzo. A mineralogia elementar é compreendida por: plagioclásio, quartzo, celadonita e piroxênio. A Figura 7 mostra imagens dos afloramentos.



Figura 7 - Aspecto geral dos afloramentos pertencentes a formação Serra Geral.

Os lugares de ocorrência dos derrames do Serra Geral, como um todo, possuem feições estruturais atectônicas com características bem conhecidas, interferindo diretamente na modelagem dos relevos regionais. Os principais tipos de feições atectônicas encontradas são: contato de derrames; fraturamentos colunares presentes nos núcleos dos derrames e fraturamentos subhorizontais originados pelo resfriamento diferenciado das várias camadas de um derrame.

B) Formação Botucatu

A unidade ocorre em uma faixa alongada de direção EW nas bordas da escarpa da formação Serra Geral, ao passo que é o arcabouço geológico com a maior ocorrência na área, totaliza cerca de 70% da área (Figura 6).

O contato entre as areias do deserto Botucatu e os derrames de lavas do Serra Geral, em função da natureza distinta dessas rochas, configura uma não conformidade de ambientes geológicos, deserto vs vulcânico, mas mesmo assim existe uma relação transicional entre estes, dada a alternância entre estes ambientes, mantida durante um certo intervalo de tempo, entre o campo de dunas eólicas e os derrames de lavas. Estratigraficamente os arenitos do Botucatu se localizam logo abaixo dos basaltos da formação Serra Geral e acima dos pelitos da formação Rio do Rastro (que não afloram nos limites estudados). Apresenta com ambas contato gradacional, ou seja, os pelitos da formação Rio do Rastro começam a apresentar camadas arenosas em seu topo até serem substituídos totalmente pelo espesso pacote de arenitos da formação botucatu, e no topo da formação Botucatu observa-se intercalações com basaltos até o momento em que este se torna a rocha predominante.

Em campo o registro estratigráfico de forma mais comum encontrado é representado por arenitos de granulação média, quartzosos e localmente feldspáticos, com grãos arredondados a subarredondados, com superfícies foscas e estriadas, com colorações que variam nas tonalidades de amarelos, esbranquiçados, róseos e arroxeados. Marcantes estratificações cruzadas de grande e médio porte marcam o arcabouço de forma acentuada. As estratificações são estruturas sedimentares típicas de rochas formadas em ambiente desértico, e nada mais são do que o perfil de paleo dunas formadoras de um antigo deserto. As Figura 8 e Figura 9 mostram como são os afloramentos e o aspecto da unidade em campo.



Figura 8 - Aspecto geral dos arenitos em escala de afloramentos.



Figura 9 - Situação das estratificações de origem sedimentar encontradas em diferentes escalas. A) Detalhe da estratificação cruzada de grande porte. B) Truncamento estratigráfico. C) Situação da estratificação encontrada em escala de afloramento.

De forma particular na porção oeste estudada, destaca-se, a região da Serra das Pedras Brancas, que abriga cavernas e paisagens ruiniformes, formadas pela erosão dos arenitos da Formação Botucatu. A Fazenda Pedras Brancas tem esse nome, pois dentro de sua propriedade existem pináculos correspondentes ao avanço erosivo ao longo de diáclases verticais nas rochas sedimentares (arenito Botucatu).

C) Depósitos Quaternários

Estes depósitos são os mais recentes encontrados na área. Correspondem a solos coluvionares (notadamente nas regiões basálticas), depósitos de tálus ou depósitos aluvionares.

Os depósitos coluvionares são comuns no sopé de encostas, mal classificados, geralmente com fragmentos grosseiros e angulosos, sem estratificação regular e constituída de solo misturado à rocha que vêm da porção mais alta da encosta, como mostra a Figura 10.



Figura 10 - Solos da margem direita do aproveitamento da PCH Santo Antonio. Os horizontes superficiais são compostos por argila siltosa com fragmentos de rochas em meio ao solo (solos coluvionares com grandes extensões). Comumente há surgências de água, principalmente nos locais onde drenagens naturais e artificiais convergem para o leito fluvial. Os solos tornam-se saturados e artificialmente são aproveitados como covas para o trato animal.

Depósitos aluvionares são restritos e aparecem junto às margens do rio das Caveiras e representam uma pequena área na superfície e são mais expressivos principalmente na porção a jusante. Esses depósitos correspondem aos sedimentos das planícies de inundação e das calhas atuais do curso. Caracterizam-se como sedimentos inconsolidados, de cores variadas, apresentando granulação diversificada predominantemente arenosa e de seixos rolados (cascalhentos), ocorrentes em áreas com baixa declividade, associados à dinâmica de deposição dos fluxos fluviais, Figura 11.



Figura 11 - Blocos rolados depositados no talvegue pela ação fluvial.

3.2. Características Estruturais

A análise estrutural compreendeu a observação das características macroestruturais (obtidas pela extração de elementos texturais de imagens de fotografias aéreas) e observações de campo, objetivando uma melhor caracterização do comportamento deformacional da área.

As fotografias aéreas articuladas e interpretadas são apresentadas na Figura 12, e a cerca delas é feita uma análise estrutural expedita da região de influência do empreendimento.

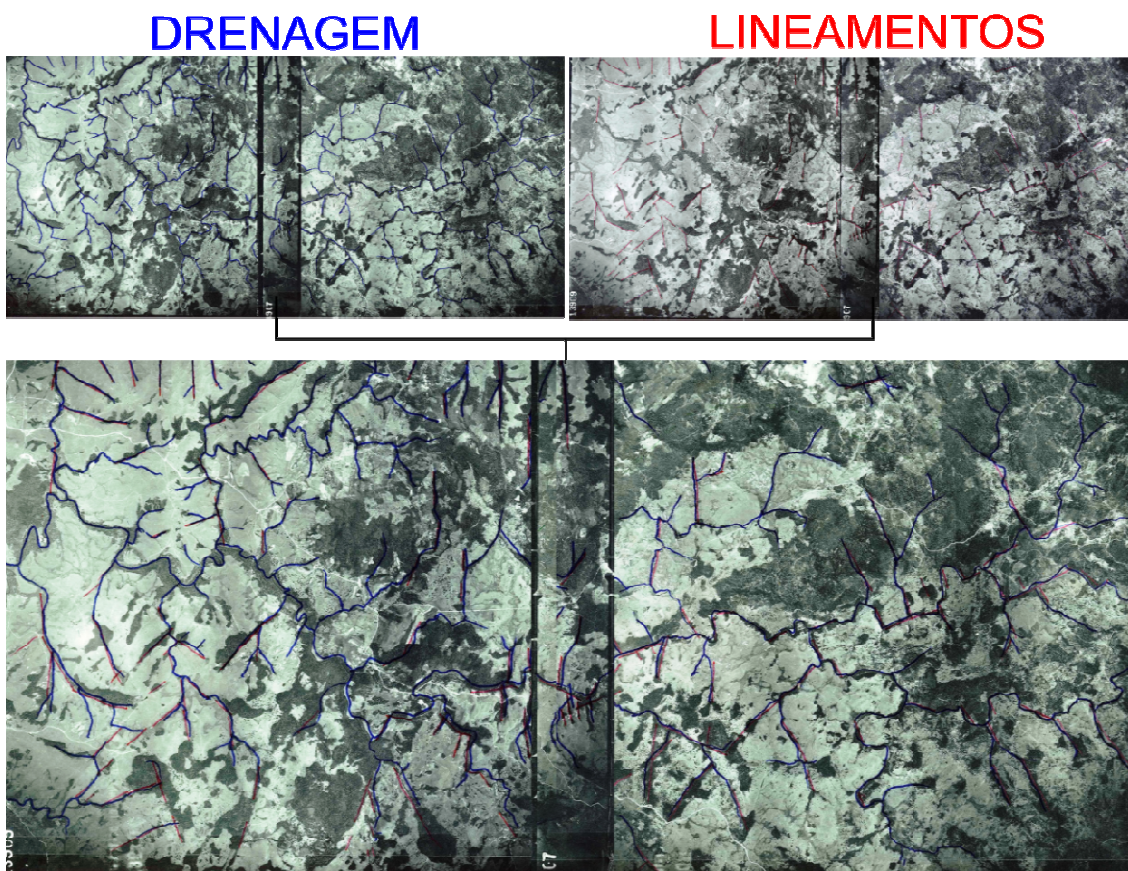


Figura 12 - Fotografias aéreas com os lineamentos negativos em vermelho e o padrão de drenagem em azul. Para a classificação expedita dos lineamentos utilizou-se a direção preferencial aproximada ou *trends* de ocorrência, e interpreta-se os lineamentos como traços

de fraturas.

As fraturas mais comuns e que exercem um maior controle no limite estudado possuem tendências, sobretudo, de direção a leste-oeste (EW) e a norte-sul (NS). Estes possuem comprimentos variados e distribuição com razoável frequência por toda área. Entanto, longe de serem os únicos, outros ocorrem com direção nordeste (NE) e noroeste (NW) e em determinados lugares são bastante influentes e marcantes.

Por vezes nas adjacências dos arenitos a morfologia do canal fluvial tende a estar encaixado nos sistemas de fraturas discutidos acima. Por isso, é observado, o talvegue com trechos retilíneos. Os canais que afluem no Caveiras de forma similar apresentam sinuosidade baixa e o canal é retificado ou misto. No geral estes elementos possuem angularidade baixa (localmente média), tropia bidirecional e assimetria fraca.

Em escala de afloramento o conjunto litológico é marcado unicamente por feições singenéticas e estruturas tectônicas rúpteis. Essas feições são representadas nos afloramentos por planos de fraturas e estratificações, as quais foram medidas por bússola brunton para análise de tendências de ocorrência e direção.

As fraturas, de forma comum, configuram planos de disjunções subhorizontais e subverticais que talham a geomorfologia e as sequências estratigráficas por toda área, como exibido na Figura 13.



Figura 13 - Exemplos de fraturamentos encontrados no rio das Caveiras. A) Fratura subvertical em arenito. B) Fratura subvertical em basalto. C) Fratura subvertical em basalto. D) Fraturas subverticais e subhorizontais em basalto.

De forma geral, as subverticais são mais proeminentes frente às subhorizontais. As subverticais mais comuns e efetivas possuem direção NNW-SSE com altos valores de mergulhos, como pode ser observado na Figura 14. Marcam os afloramentos por possuírem alta frequência, planos contínuos, com fatiamento muito eficaz, frequência moderada e bastante persistente. O espaçamento é dessimétrico a métrico e em nenhum momento foi constatado preenchimento e sentido de movimentação nestas feições.

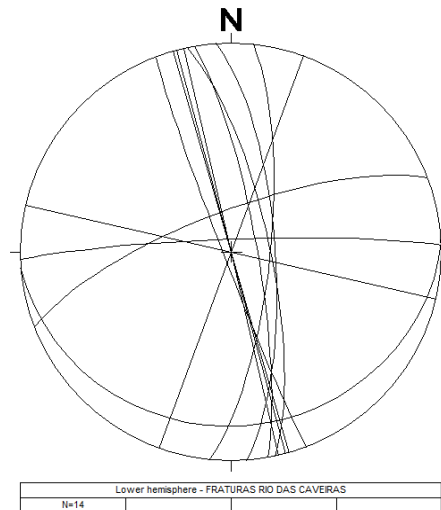


Figura 14 - Estereograma e diagrama de rosetas dos planos de fratura observados em afloramentos.

As estratificações, feições de origem singenética intrínseca unicamente aos arenitos, formam planos de descontinuidades penetrativos por toda a área de ocorrência da formação Botucatu. Sua tipologia é do tipo cruzada de médio a grande porte (por vezes acanalada) de modo que são observadas em diferentes escalas. Marcam o relevo implicando em padrões de drenagem e quebras de relevo particular a esta formação, bem como exhibe as imagens da Figura 15.



Figura 15 - Detalhes das estratificações sedimentares cruzadas acanaladas de médio e grande porte que se apresentam nos arenitos da formação Botucatu que ocorrem no local. Estes planos foram medidos por bússola brunton e os dados foram interpretados.

A análise de tendência das estratificações aponta orientações segundo duas direções: N50E e N50W com mergulhos de 20° par a sudeste e sudoeste, bem como apresenta a Figura 16.

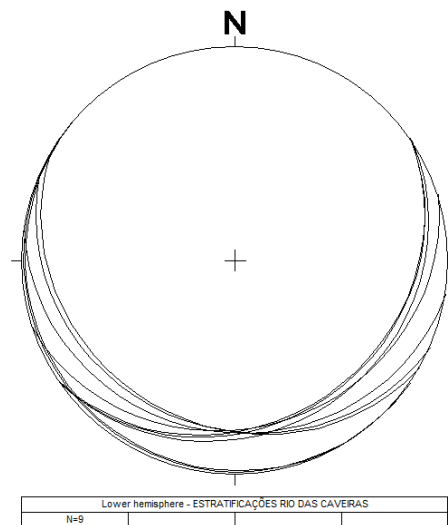


Figura 16 - Estereograma das estratificações da formação Botucatu tomadas em afloramentos.

3.3. Características Geomorfológicas

Com aproximadamente 70% da área estudada, as regiões areníticas configuram a maior extensão geomorfológica local. Esculpem regiões arrasadas topograficamente com colinas suavemente onduladas a dissecadas, logo na borda das escarpas da formação Serra Geral, com vales não muito profundos e encostas moderadamente íngremes e sulcadas, separadas por cristas marcadas na paisagem, como mostra o esquema da Figura 17.



Figura 17 – Esquema com a vista regional dos platôs basálticos (escarpas da Serra Geral) e das depressões areníticas.

O rio das Caveiras quando na depressão tende a apresentar linhas retilíneas, com sinuosidade baixa, corredeiras rápidas interpostas a porções com quietação. Alguns afloramentos rochosos de arenito são resistentes à erosão, formando pavimentos de superfícies irregulares. Depressões rasas, circulares, e outras dessimétricas se intercalam neste piso rochoso, onde se desenvolve um solo de cor marrom escura ou negra de apenas 10-20 cm de espessura. As imagens da Figura 18 mostram as formas que se desenvolvem no ambiente.



Figura 18 - Série de imagens aéreas evidenciando a forma de relevo do trecho ótimo de aproveitamento. Colinas suavemente onduladas a dissecadas, com vales pouco profundos e encostas moderadamente íngremes e sulcadas, separadas por cristas marcadas na paisagem marcam o relevo. O rio intercala porções de correntezas rápidas e lentas.

O aprofundamento da drenagem ocorre na porção média da área onde o arcabouço torna-se mais fraturado e a erosão fluvial origina feições abruptas (como canyons) levando a um outro nível de base.

Já sobre rochas ígneas básicas (formação Serra Geral), o relevo configura-se como topos regionais e pertencem a restos de uma superfície de aplanamento, já tendo sofrido remanejamento posterior à elaboração da superfície a qual pertenciam. Localmente são regiões altimetricamente superiores com relevo tabular e planar, como pode ser visto na Figura 19.



Figura 19 - Imagens panorâmicas das regiões basálticas. A) Situação típica das encostas e do rio sobre essas áreas. B) Vista dos topos emblemáticos constituídos por basaltos.

Para o presente estudo, os dados planialtimétricos, cuja origem é da restituição, foram tratados computacionalmente e esse instrumento gerou produtos como carta hipsométrica, declividade e de modelo digital do terreno (MDT) a nível de bacia hidrográfica e da área de inventário, e estão apresentadas a seguir.

O limite estudado entremeia cotas altimétricas que variam de 880 a 1125 metros como espacializadas conforme ilustrado na Figura 20. Para este trabalho a superfície analisada foi subdividida em camadas com intervalos homogêneos de cotas altimétricas (41 metros).

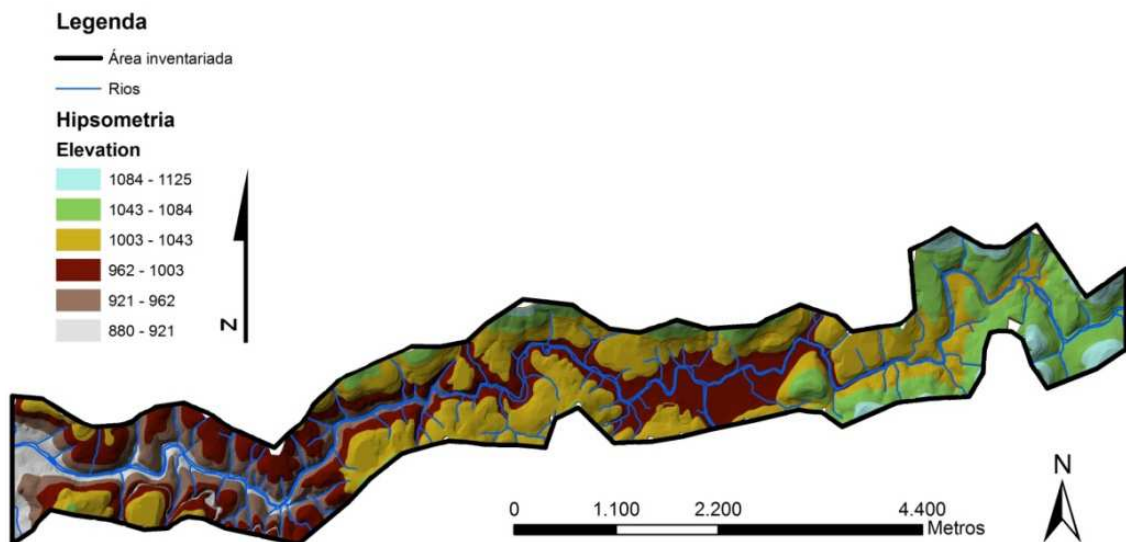


Figura 20 – Hipsometria do limite estudado. Os dados processado provieram da restituição fotogramétrica.

A carta de declividade foi gerada de tal maneira que é possível definir quatro (4) classes de declividades, conforme indicado na Figura 21. As classes foram ordenadas da seguinte maneira:

- Declividades inferiores a 10% - Declives planos;
- Declividades variando de 11-24% - Declives brandos a moderados;
- Declividades variando de 25-49% - Declives pouco íngremes a íngremes;
- Declividades superiores a 50 % - Declives íngremes.

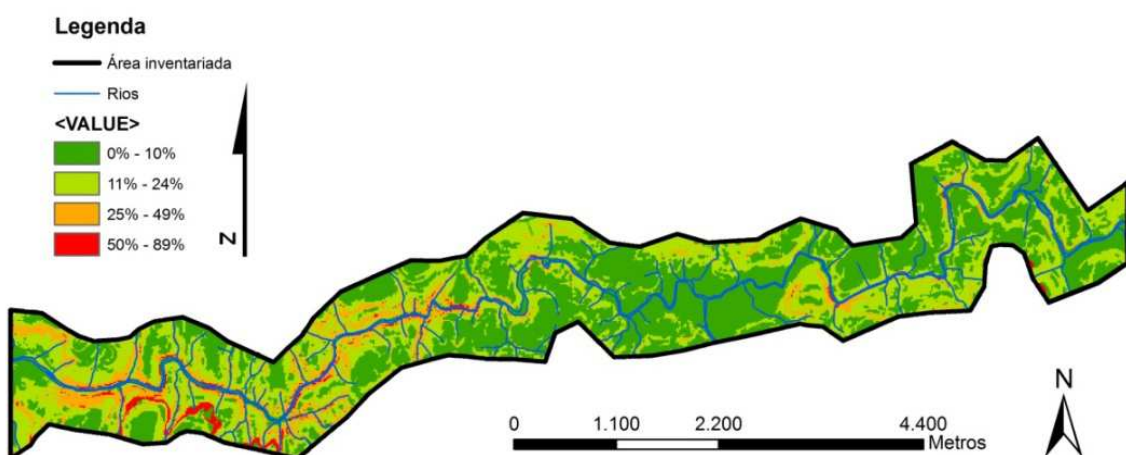


Figura 21 - Declividade do limite estudado. Os dados processado provieram da restituição fotogramétrica.

3.4. Hidrogeologia

A Figura 22 mostra que a área do estudo localiza-se em uma região onde ocorre o Sistema de Aquífero Serra Geral (SASG), em rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, e o Sistema de Aquífero Guarani (SAG), em rochas da Formação Botucatu.

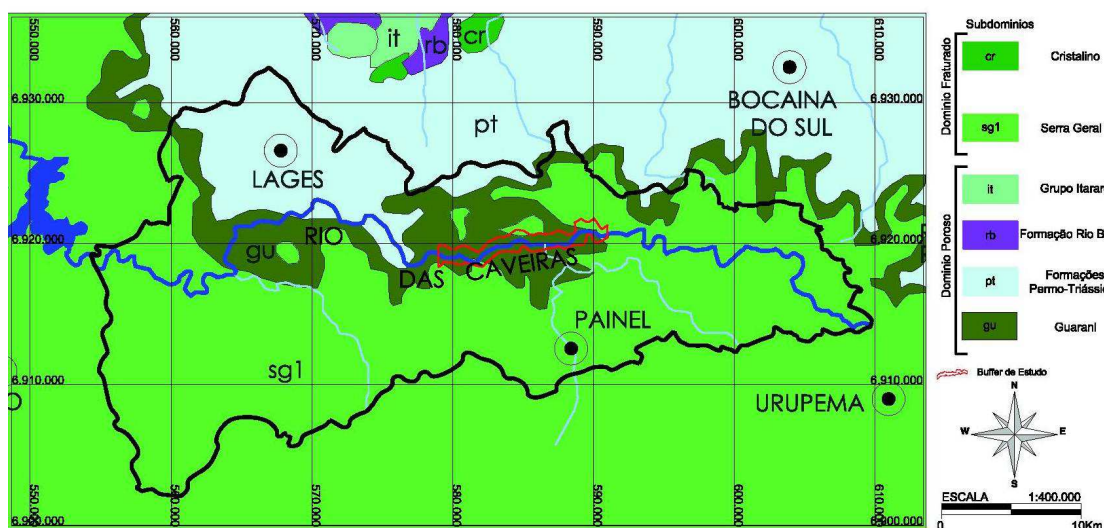


Figura 22 – Sistema de aquíferos na bacia e no trecho de estudo. Fonte: Ana, 2007.

O aquífero guarani é granular (poroso ou sedimentar), onde a circulação da água se faz pelos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam. A porosidade esperada seria quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função somente dos diferenciais de pressão hidrostática, o que imprimiria um caráter isotrópico ao sistema. Entretanto, trabalhos recentes mostram que nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul o SAG é compartimentado por grandes sistemas de falhas, os quais influenciam a espessura de suas camadas e dos estratos confinantes, a direção do fluxo e o conteúdo de STD (Sólidos Totais Dissolvidos), com implicações diretas na qualidade das águas.

Trabalhos recentes desenvolvidos no estado de São Paulo por Fernandes *et al.* (2007 *apud* Silva, 2007), procuram caracterizar os parâmetros hidráulicos dos caminhos preferenciais de fluxo de águas subterrâneas através dos basaltos do SASG, os quais devem constituir uma ligação entre o sistema de aquífero Guarani (SAG) e a superfície. A partir do modelo conceitual

preliminar de circulação das águas no SASG nota-se que os principais caminhos de circulação correspondem principalmente a fraturas subhorizontais, geradas durante o resfriamento dos basaltos, e a fraturas tectônicas subverticais que provavelmente conectam a superfície aos arenitos do SAG. Observa-se que a ascensão das águas do SAG através das fraturas se dá em situações onde o nível potenciométrico do aquífero sotoposto encontra-se acima do nível potenciométrico do SASG, devido à carga hidráulica, presença de discontinuidades e tempo de trânsito das águas.

3.5. Solos

Os solos que ocorrem na bacia hidrográfica, em consulta através do mapa pedológico produzido pela Embrapa Solos (2004) e apresentado na Figura 23, compreende três classes a saber: Nitossolo Bruno, Cambissolo e Neossolo Litólico.

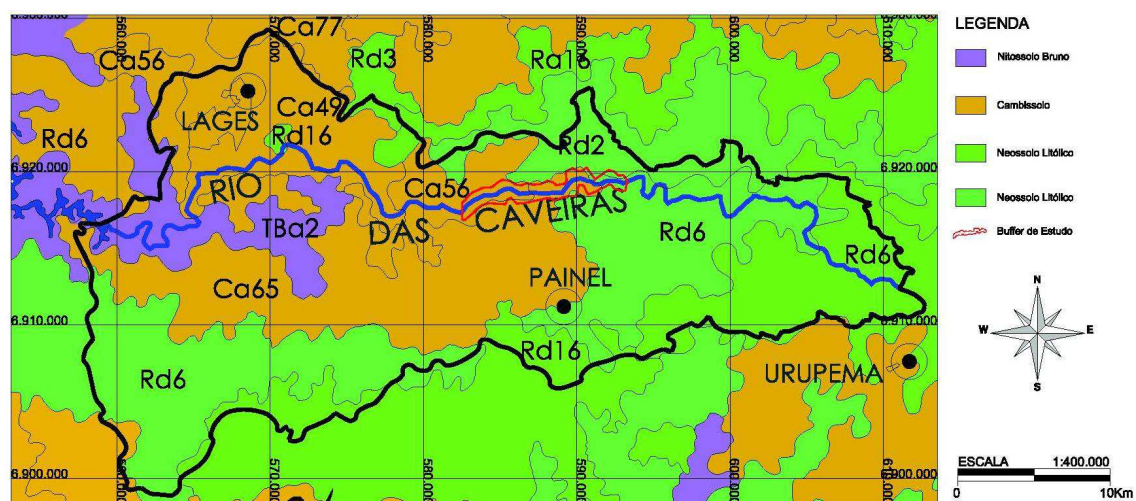


Figura 23 – Distribuição dos solos na bacia do rio das Caveiras e no trecho de estudo. Fonte: Embrapa Solos (2004).

Kertzman & Diniz (1995) descrevem os Neossolos Litólicos como solos rasos muito pouco evoluídos. Normalmente caracterizam-se por uma fina camada arenosa-orgânica que recobre diretamente a rocha pouco ou moderadamente alterada. Estes solos aparecem em áreas de montanhas, serras e escarpas.

O Nitossolo Bruno compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte subsuperficial nem sempre positivamente identificável como B

textural (Carvalho, 1982 *apud* Embrapa Solos, 2004). São de coloração brunada, de argila de atividade baixa, com altos teores de matéria orgânica nos horizontes superficiais, argilosos ou muito argilosos, com a massa do solo apresentando uma notável capacidade de contração (encolhimento) com a perda de umidade, o que contribui para evidenciar, nos cortes de estrada, uma macroestrutura prismática característica, composta de blocos subangulares moderadamente desenvolvidos. São derivados tanto de rochas efusivas da Formação Serra Geral como de sedimentos finos do Paleozóico.

Geotecnicamente o comportamento destes solos são análogos aos litólicos, já que aparecem em áreas de mais altas declividades.

Em suma os Cambissolos, se caracterizam por serem pouco evoluídos, onde os horizontes superficiais A e B são pouco espessos, em geral até 1 m e quando derivam de rochas cristalinas possuem grandes quantidades de fragmentos e seixos, provenientes da rocha original. Esta pequena cobertura superficial recobre um espesso solo de alteração ou saprolito. O horizonte C guarda as características da decomposição mineral e textural da rocha-matriz (Kertzman & Diniz, 1995). Os Cambissolo podem ocorrer em paisagens representadas pelas mais variadas formas de relevo, sendo, contudo, mais comuns em superfícies topográficas bem acidentadas.

As características geotécnicas destes solos são bem variáveis, regionalmente acredita-se que são poucos suscetíveis a processos erosivos, e localmente médias, principalmente devido a pequenas amplitudes do relevo e das características mineralógicas e texturais de seu material de origem. Entretanto, quando há a exposição destes solos em cortes e taludes compõem-se em grandes problemas, sendo extremamente erodíveis e friáveis, podendo desenvolver sulcos, ravinas e solapamentos. Fortuitamente se este solo contiver uma significativa quantidade de blocos e esteja sobre o local de ombreiras, deve-se fazer a raspagem até que se atinja o topo rochoso para se evitar problemas de fundação.

4. Cartografia Geológico-Geotécnica

O presente texto traz uma carta geológico-geotécnica e a caracterização das unidades geológico-geotécnicas, elaborado a partir da análise geológica (meio físico relativo à litologias e estruturas), geomorfológica, hidrogeológica, hidrológica, fotointerpretação com base em Soares & Fiori (1976) e processos geológicos-geomorfológicos, aplicadas na fase de estudos de inventário hidrelétrico (Adaptado de Paula, 2008).

A área pôde ser dividida em 3 Unidades Geológico-Geotécnicas (UGG's), sendo duas localizadas na área da formação Botucatu e uma na formação Serra Geral, como apresenta esquematicamente a Figura 24 e a Carta Geológico-Geotécnica (Anexo).

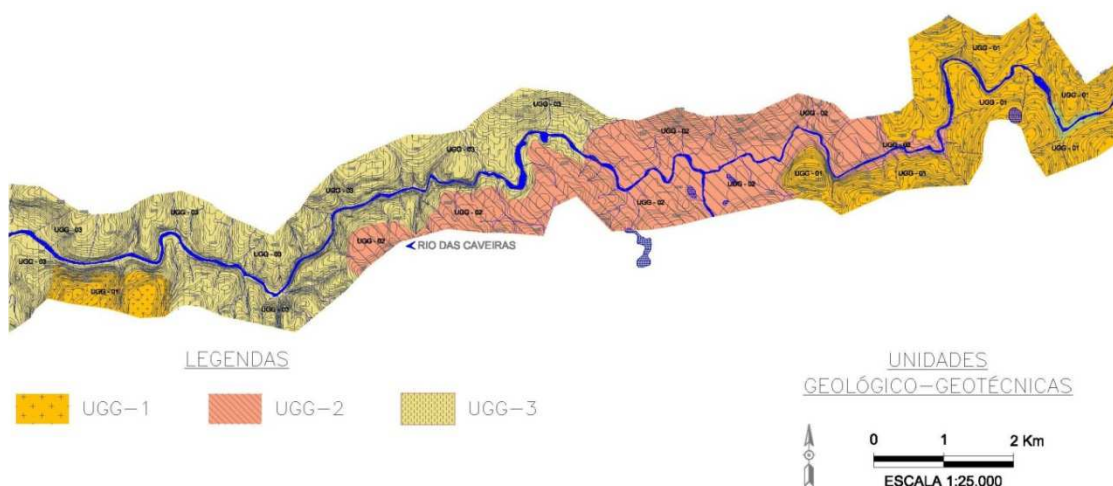


Figura 24 - Mapa esquemático com a divisão em unidades geotécnicas do trecho do rio das Caveiras. A divisão é apoiada, principalmente, sobre os tipos litológicos, presença de discontinuidades, graus de alterações, coerência, solos, geomorfologia, declividade e hipsometria.

A descrição das características geológicas, geomorfológicas, solos, hidrologia e hidrogeologia e do registro dos processos geológicos-geomorfológicos esperados para cada uma das unidades são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Síntese das características do meio físico das Unidades Geológico-Geotécnicas delimitadas, dos processos geológicos e geomorfológicos e das medidas preventivas/corretivas esperados para cada unidade.

UGG's	Características do Meio Físico				Processos geológico-geomorfológicos	Medidas Preventivas/Corretivas
	Geologia	Geomorfologia	Solos	Hidrologia / Hidrogeologia		
UGG-1	Formação Serra Geral; Basaltos com texturas e estruturas heterogêneas. Arcabouço com distintos graus de fraturamento e alterações.	<ul style="list-style-type: none"> - A distribuição espacial é em blocos de relevos isolados por áreas dissecadas; - Relevo plano, tabular e conservado; - O contato com a unidade geológica inferior marca o relevo com formas escarpadas; - Declividades planas a brandas circundadas por declives íngremes no contato com as demais classes de unidades; 	<ul style="list-style-type: none"> - Espessura: variável, podendo atingir cerca de 5 m nas colinas e porções aplainadas e ausentar-se nas encostas mais escarpadas; - Presença de blocos de rocha alterada ou parcialmente alterada; - Cobertura coluvial: < 3 m; - Textura argilosa; - Tendem a ser pouco permeáveis nos solos residuais e permeável nos colúvios; 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta densidade de drenagem; - Padrão subparalelo a denderítico; - N.A. raso (afiorante à 5 m de profundidade); 	<ul style="list-style-type: none"> - Rastejos e escorregamento de solos e rochas; - Solos deformáveis e recalçáveis; - Colapso e/ou recalque dos solos com a elevação do freático; - Permeabilidade heterogênea dos geomateriais; 	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção de horizontes de rochas alteradas e fraturadas na fundação de estruturas; - Para escavações subterrâneas os contatos subhorizontais entre derrames, relativamente permeáveis e incoerentes, podem favorecer deslocamentos, instabilizações de teto e afluxos d'água; - Injeções de impermeabilização e consolidação de porções no maciço; - Medidas de prevenção e contenção dos processos geológicos perigosos;
UGG-2	Formação Botucatu; Quartzo arenitos com estratificações tabulares de médio a grande porte. Arcabouço pouco a moderadamente fraturado e rochas medianamente coerentes.	<ul style="list-style-type: none"> - Relevo ondulado; - Morrotes baixos; - Declives planos e brandos; - Topos arredondados; - Vertentes convexas e retilíneas; - As drenagens secundárias são poucas medianamente dissecadas e não formam anfiteatros; 	<ul style="list-style-type: none"> - Composição silto arenosa; - Espessura variável podendo atingir 3 m nas baixadas e ausentar-se nas encostas; - Pequena espessura de solo orgânico; - Cobertura coluvionar pouco desenvolvida; 	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade de drenagem baixa a média (alta infiltração); - Padrão retilíneo subparalelo a paralelo; - N.A.podendo atingir dezenas de metros; 	<ul style="list-style-type: none"> - Ravinas que podem evoluir para voçorocas; - Escorregamento de rochas; - Processos erosivos intensos em solos residuais e litólicos; - Problemas de infiltração, cisalhamento e deformabilidade para suporte como fundações; - Solos naturalmente suscetíveis a erosão; - Colapso e/ou recalque dos solos com a elevação do freático; 	<ul style="list-style-type: none"> - Injeções de impermeabilização e consolidação para o uso em suporte de estruturas; - Instalação de tapetes e cortinas de impermeabilização para diminuir a permeabilidade; - Revestimento do sistema de adução; - Propriedades mecânicas e hidráulicas diversas; - Contenção de processos erosivos e de escorregamentos de massa (materiais inconsolidados e rochas areníticas suscetíveis aos processos erosivos);
UGG-3	Formação Botucatu; Quartzo arenitos com estratificações tabulares de médio a grande porte. Grau de fraturamento mediano a alto e rochas medianamente a pouco coerentes;	<ul style="list-style-type: none"> - Relevo moderado com vertentes dissecadas; - Declividades moderadas a íngremes; - Vertentes convexas e retilíneas; - Topos arredondados; - Vales fechados; 	<ul style="list-style-type: none"> - Composição silto arenosa; - Espessura variável podendo atingir 3 metros nas baixadas e ausentar-se nas encostas; - Pequena espessura de solo orgânico; - Cobertura coluvionar pouco desenvolvida; 	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade de drenagem baixa a média (alta infiltração); - Padrão retilíneo subparalelo; - N.A.podendo atingir dezenas de metros; 	<ul style="list-style-type: none"> - Escorregamento e tombamento de solos e rochas; - Suscetível a erosão (produto de alteração arenosa); - Ravinas que podem evoluir para voçorocas; - Alta suscetibilidade a erosão dos solos; - Problemas de infiltração, cisalhamento e deformabilidade para suporte como fundações, especialmente agravados pelo grau de fraturamento; - Perda d'água excessivas nos locais de represamento d'água, sobretudo nos locais mais fraturados; - Elevação do freático; - Ocorrência de cavernas no arcabouço; 	<ul style="list-style-type: none"> - Injeções de impermeabilização e consolidação para o uso em suporte de estruturas; - instalação de tapetes e cortinas de impermeabilização para diminuir a permeabilidade; - Revestimento do sistema de adução; - Propriedades mecânicas e hidráulicas diversas; - Contenção de processos erosivos e de escorregamentos e tombamentos de rochas e solos; - Concretagem de cavernas em subsuperfície;

4.1. Aspectos geotécnicos

Para o enfrentamento de situações de risco de progressivo agravamento e a otimização do uso planejado do território é necessário a identificação e caracterização dos “defeitos geológicos e geotécnicos”. Estes, do ponto de vista de seu aproveitamento em engenharia civil e em função das obras a ser implantada, traduzem a qualidade dos terrenos acerca envolvidos.

Com o mapeamento geológico local, geotécnico e com o subsídio das imagens de sensoriamento remoto pode-se autenticar que os maciços rochosos envolvidos são tipicamente heterogêneos e anisotrópicos por causa dos diferentes tipos litológicos, presença de descontinuidades, graus de alterações e durezas, materiais de alteração, formas de relevo, etc.

Como observado na carta geológico-geotécnica em anexo os domínios UGG-2 e UGG-3 correspondem aos litotipos mapeados da formação Botucatu da bacia sedimentar do Paraná. As rochas dessa unidade possuem mineralogia, textura e granulometria que variam na estratigrafia. As descontinuidades mais comuns presentes nestes maciços, de forma geral, são representadas por planos de fraturas e estratificação. O grau de alteração é diversificado no registro estratigráfico com distintas resistências ao intemperismo.

O arcabouço do domínio UGG-2 é caracterizado por possuir dureza pouco mais elevada que o UGG-3 e é menos recortado por fraturas tectônicas, assim consistindo em separado na carta geológico-geotécnica. Geotecnicamente essa unidade caracteriza-se por ser mais competente em relação à de número 3, devido ao sensível aumento da dureza e coesão, que é percebido em afloramento, imagens aéreas e na escultura do relevo (principalmente pelas declividades mais suaves).

A unidade geológico-geotécnica 3 (UGG-3) compreende os arenitos Botucatu com seus elementos intrínsecos, assim como a unidade 2, com uma proporção de descontinuidades tectônicas (sistemas de fraturas, falhas e diáclases) aumentada (número/espço), somado a um abate na dureza e resistência ao intemperismo que isto ocasiona. Deste modo, a forma de relevo

traduz uma maior dissecação em formas abruptas, com declividades maiores e permeabilidade secundária incrementada.

As alterações intempéricas dos tipos litológicos da formação Botucatu, em consequência das duas unidades geotécnicas, resultam em uma cobertura de solo residual arenoso e siltoso e que ocorrem em declives planos a acentuados, sobre as quais se desenvolvem solos litólicos e cambissolos, sobrepostos na maioria por gramíneas e vegetação de pequeno porte. Além do que, o intemperismo químico altera as propriedades geotécnicas das rochas (dos materiais de alteração) em um grau que depende do tipo de rocha, clima e tempo. Ademais, há ainda uma diminuição da resistência mecânica dos arenitos devido ao movimento da água através das descontinuidades gerando pressões neutras e hidrostáticas.

A transição solo-rocha é gradativa com eventual recorrência de rochas sãs. Geotecnicamente, este produto de alteração, quando em áreas de mais altas declividades, são críticos, suscetíveis a movimentos de massa gravitacional. Para a construção em obras de engenharia, neste caso em pequenas centrais hidrelétricas, este tipo de alteração de rocha, caso ocorra nas fundações e ombreiras, é indicado à retirada do material da superfície, fazendo-se a ancoragem diretamente sobre rocha. Dependendo da espessura de solo local.

No tempo presente, os processos geológico-geomorfológicos instalados são representados por ravinamentos em campos de pastagens e agrícolas onde a inclinação da pendente é maior. Edificam, em sua saída, cones de dejeções de areia estéril.

Outro aspecto de fundamental importância, e que deve estar bem compreendido em etapas subsequentes, é que os arenitos possuem elevada permeabilidade e porosidade primária entre os grãos de areia possibilitando a retenção de água nestes espaços vazios, caracteriza assim um potencial manancial de água subterrânea ou um aquífero poroso. É constatado que o risco de percolação e perdas d'água significativas nos reservatórios que venham a ser instalados são naturalmente susceptíveis de ocorrerem, e de fato ocorrerão, sobretudo onde o meio físico geológico é representado por arenitos

fraturados. É notório que, a elevação do lençol freático e as perdas excessivas de água para o meio podem causar consequências severas ao meio.

Em suma, o resultado destes dois domínios (UGG-2 e UGG-3) é um agregado de descontinuidades, com formas geométricas ligeiramente tabulares e paralelizadas, com direções tendendo para N50E a N50W e mergulhos prevalecendo de 20° para sudeste (SE) e sudoeste (SW), resultantes da estratificação sedimentar, alternadas em granulometrias distintas e em zonas de rochas intemperizadas em graus variáveis e com propriedades físicas diferentes. Este agregado é seccionado primordialmente por sistemas de fraturas subverticais com direção NNW-SSE e EW com altos valores de mergulhos. A quantidade de exemplares por área está diretamente relacionado com a permeabilidade e a deformabilidade dos maciços. E indiretamente relacionado à resistência ao cisalhamento.

Como palco de transformações pelo homem estas unidades particularizam uma série de propriedades de ordem geológico e geotécnicas principalmente relacionados à estabilidade das obras civis e do meio. As apontadas pela cartografia são: movimento de massa gravitacional de solos e rochas, alta suscetibilidade a erosão, ravinamento e erosão linear de solos e rochas, problema de infiltração e perda d'água, cisalhamento e deformabilidade para suporte como fundações, etc. Como correções e tratamentos são aconselháveis: injeções de impermeabilização e consolidação de fundações, reforço para suporte de fundações, instalação de tapetes impermeáveis, impermeabilização de sistemas de adução, etc.

Já o domínio UGG-1, como observado na carta anexa, é formado pelos basaltóides da formação Serra Geral. Configura-se em superfícies planares e tabulares, capeando os arenitos das unidades UGG-2 e UGG-3, em cotas elevadas (acima de 1.000 m aproximadamente), cortado por sistemas de disjunções subverticais e subhorizontais contínuas.

Os derrames são caracterizados litologicamente por diferentes zonas com características estruturais e texturais não uniformes. Localmente, o registro mais comumente encontrado é representado por basaltos de coloração cinza escuro, textura fanerítica fina e estrutura maciça, com esparsas vesículas e amígdalas preenchidas por quartzo. Devido a essas distintas feições nos

derrames, que é marcadamente diversificada, o grau de alteração e resistência ao intemperismo é variado no empilhamento.

As consequência dessas características litológicas induzem, de forma genérica, este domínio a se configurar em um estrato ligeiramente tabular, repousando sobre os arenitos do Botucatu, com uma grande peculiaridade de estruturas e texturas intrínsecas com diferentes graus de alteração e resistência ao intemperismo. Seccionando todo o arcabouço distribuem-se descontinuidades (famílias e sistemas de falhas, juntas e diáclases) subverticais e subparalelas ao derrame.

O parâmetro fundamental do comportamento geológico-geotécnico desta unidade é condicionado principalmente pela distribuição espacial das descontinuidades (famílias e sistemas de falhas, juntas e diáclases), sobretudo em termos específico para os locais de barramentos, entanto, e certamente, longe de ser o único.

Recorrentes destas rochas, as coberturas de solos são formadas por dois tipos, o primeiro é residual que ocorre nas áreas mais aplainadas possuindo transição solo-rocha gradativa e às vezes com recorrência de rocha e solo. O segundo por solos transportados que ocorrem ao longo das encostas íngremes (colúvios) e nas margens do rio das Caveiras, através dos seus depósitos aluvionares. Os depósitos de encostas possuem contato solo-rocha com recorrências de rocha e solo, já nos aluviões o contato é brusco e bem definido.

5. Conclusões e recomendações

O conhecimento prévio das condições geológicas do local de implantação de usinas é de fundamental importância para o sucesso dos aproveitamentos hidrelétricos do ponto de vista de prazo, qualidade e custos. Muitas vezes, as deficiências e a falta de detalhamento destes estudos comprometem o bom desenvolvimento das obras devido à ocorrência de imprevistos geológicos ou surpresas geológicas, principalmente em obras subterrâneas, onde a boa cobertura das investigações de campo se torna mais difícil.

No desenvolvimento deste relatório, onde os dados produzidos correspondem aos exigidos pela ANEEL para a fase de inventário de PCH's, foram investigados os condicionantes geológico-geotécnicos em contínuo detalhamento de um trecho do rio das Caveiras.

A carta geológico-geotécnica elaborada na escala 1:30.000 possibilitou individualizar na área três unidades com base em trabalho de fotointerpretação e trabalhos de campo e escritório. Estes foram destinados ao reconhecimento das unidades e a identificação e caracterização de problemas geológico-geotécnicos potenciais ou existentes e das medidas de prevenção/correção previsíveis.

Com a carta elaborada foi possível identificar as áreas suscetíveis a problemas em cerca de 55 quilômetros de extensão do rio das Caveiras, os quais tem servidão em projetos e obras de usinas na região. De forma geral, finda-se que os maciços rochosos basálticos (UGG-1) são mais indicados para as fundações das estruturas e da locação das obras de arte do que os litotipos areníticos (UGG-2 e UGG-3). Inexoravelmente, análises em maiores detalhes serão exigidas para o concreto e concatenado conhecimento e entendimento dos processos que são passíveis de ocorrerem e os que possam a vir ser instalados em cada unidade, sobretudo com as modificações que são comumente implantadas em aproveitamentos hidroelétricos.

A carta também permite concluir que é possível identificar e minimizar parte dos problemas observados com a implantação de algumas medidas preventivas/corretivas.

Aconselha-se para a região, e como premissa de subseqüentes etapas de projetos, que a caracterização dos problemas geológicos potenciais específicos ao trecho vá ao encontro da compatibilização entre o modelo de risco geológico e investigações pertinentes. Para o trecho analisado são aconselhadas as seguintes investigações: sondagens geofísicas, a trado e rotativas ao longo das estruturas civis, com o objetivo de melhor avaliar as condições das rochas (tipo de rocha, existência de contatos, propriedades mecânicas, etc.) e a espessura de solo, todas incrementadas por ensaios especiais em laboratórios e campo. Em caso próprio, uma abordagem mais detalhada a respeito dos dados estruturais do maciço rochoso seja necessária,

com uma boa quantidade e qualidade das informações sobre atitude e qualidade dos planos de descontinuidade, e conseqüente análise da estabilidade das escavações em função também do posicionamento específico de cada talude ou de cada variação de traçado dos túneis.

A adoção dessas medidas conciliadas a uma boa quantidade e qualidade das investigações sugeridas através de sondagens, mapeamentos geológico-geotécnicos de superfície e ensaios laboratoriais para a mecânica dos solos e das rochas, certamente diminuirá os riscos geológicos com o devido esclarecimento das principais incertezas e surpresas geológicas.

Além do exposto, a atual preocupação com os temas relacionados ao meio ambiente, a fim de harmonizar os empreendimentos com o meio ambiente e às atividades econômico-social e financeira das comunidades afetadas, demandará uma série de medidas mitigadoras de impactos geoambientais, programas e planos de ação para controle de suas causas e efeitos. Para uma avaliação de impacto e caracterização dos processos envolve um contexto interdisciplinar para contribuir com soluções eficazes dos problemas que sobrevierem em fase de projetos, obras e operação.

6. Referências Bibliográficas

ANA. 2007. Mapa de Domínios Hidrogeológicos de Santa Catarina, escala 1:1.000.000.

ANEEL. 2003. Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Disponível em: <<http://www3.aneel.gov.br/empreendedor/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2009.

DE PAULA, J. P. L. 2007. Caracterização do meio físico como subsídio à elaboração de cartas de sensibilidade ambiental: ensaio de aplicação em dutovia na serra do mar – SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Rio claro. 147 p.

De PAULA, J.P.L.; ZAINE, J.E.; LIMA, M.S.; OLIVEIRA, E.M. 2008. Análise fisiográfica aplicada à elaboração de mapa geológico-geotécnico de região da serra do mar e baixada santista. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 27, n. 2, p. 249-264.

EMBRAPA SOLOS. 2004. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, 726p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46).

KERTZMAN, F. F. & DINIZ, N. C. 1995. As abordagens de solos utilizados na geologia aplicada ao meio ambiente. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 3.1, p.19 - 30.

PLANO NACIONAL DE ENERGIA – PNE 2030 -. 2008. Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Ministério de Minas e Energia (MME). Disponível: <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>. Acessado em 20/01/2010.

SANTOS, A. R. dos. 2008. Diálogos Geológicos: é preciso conversar mais com a terra. São Paulo. Editora o Nome da Rosa. 183 p.

SILVA, A. B. 2007. Conectividade e Compartimentação Magnéticaestrutural dos Sistemas aquíferos serra geral e guarani na região central do Estado do Paraná. Curitiba. Dissertação (Mestrado). Departamento

de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 182 p.

SOARES. P.C., FIORI, A.P. 1976. Lógica e Sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Not. Geomorf. Campinas, n.16.

ANEXO